

Edge Computing: Aplicaciones y desafíos actuales

Survey Edge Computing: Current Applications and Challenges

José Luis Mela¹, Gloris Denisse Cedeño² y Edwin Cedeño Herrera³

¹Licenciatura en Ingeniería Informática; Docente de la Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas; jose.mela@up.ac.pa; <https://orcid.org/0000-0002-1275-4905>

²Estudiante de Licenciatura en Ingeniería Informática; Universidad de Panamá, Miembro de IEEE; gloris.cedeno@up.ac.pa; <https://orcid.org/0000-0003-2533-0252>

³Doctorado en Ingeniería en Sistemas Telemáticos; Docente de la Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Veraguas; edwin.cedenoh@up.ac.pa; <https://orcid.org/0000-0002-5841-2759>

Resumen: La cantidad de datos generados por sensores, actuadores y otros dispositivos ha aumentado, sustancialmente, en las últimas décadas. Actualmente, los datos son procesados en la nube, en consecuencia, el ancho de banda de la red y la latencia de las comunicaciones se convierten en serios cuellos de botella, lo que ha impulsado un nuevo paradigma informático, Edge Computing (EC), que tiene como objetivo proporcionar servicios basados en Internet en las proximidades de los usuarios al colocar las infraestructuras de tecnologías de la información en el borde de la red en formas de pequeños centros de datos, permitiendo de esta manera aliviar la carga de procesamiento en la cloud. Para proporcionar una visión general de Edge Computing, en este artículo se presenta un estudio sobre esta tecnología, incluyendo, conceptos, escenario actual, arquitectura, áreas de aplicaciones y desafíos actuales; esperamos que este documento atraiga la atención de la comunidad e inspire más investigaciones en esta dirección.

Palabras clave: Ancho de banda, cloud computing, Edge Computing, IoT, latencia.

Abstract: The amount of data generated by sensors, actuators and other devices has substantially increased, in recent decades. Currently, the data is processed in the cloud, consequently, the network bandwidth and the latency of communications have become serious bottlenecks, which have driven a new computing paradigm, Edge Computing (EC), which aim to provide Internet-based services in close proximity to users by placing information technology infrastructures at the network's edge in the form of small data centers, thus allowing to alleviate the burden of cloud processing. To provide an overview of edge computing, this article presents a study about this technology, including concepts, current scenario, architecture, application areas and current challenges; we hope that this document attracts the attention of the community and inspires more research in this direction.

Key words: Bandwidth, cloud computing, Edge Computing, IoT, latency.

1. Introducción

El incremento en la demanda de los servicios y aplicaciones en las últimas décadas del uso de la Internet, ha contribuido a un fuerte aumento de los requisitos de procesamiento y almacenamiento de datos. Son diversos, en términos de los recursos que requieren las

diferentes aplicaciones y, por lo tanto, a menudo invocan soluciones a medida (Dilú y Kant Data, 2017).

Edge Computing, representa una solución para enfrentar y aliviar la carga de procesamiento y almacenamiento en la nube, en aplicaciones y tecnologías que requieren de un ancho de banda exponencial y una baja o nula latencia. Esta es la esencia del paradigma Edge Computing, los datos son procesados en el borde de la red, lo más cerca de los usuarios finales.

Existen otros paradigmas informáticos, estrechamente, relacionado con Edge Computing, como la computación en la nube, computación móvil en la nube, computación niebla, computación en la red y computación a borde de múltiple acceso. En este documento se estudia, exclusivamente, el paradigma Edge Computing, partiendo de la definición de este concepto, luego presentamos el escenario actual, dónde se está trabajando Edge Computing según otros autores, seguido por la arquitectura general que comprende EC y, finalmente, se describen las áreas de aplicación de este paradigma, lo que nos lleva a mencionar los desafíos y líneas futuras de investigación.

2. Edge Computing

La computación de borde o Edge Computing apareció alrededor de 2002 y se refiere al paradigma que permite ubicar los recursos de computación en el borde de la red, de modo que la computación ocurra cerca de las fuentes de datos (Chao, Wang, Wui, Li, Colman, Tornarle y Zhang, 2019).

2.1 Concepto

Existen diversas definiciones para Edge Computing, todas incluyen términos comunes como: plataforma abierta, tecnologías habilitadoras y recursos informáticos. A continuación, se citan algunos de ellos:

Edge Computing se refiere a las tecnologías habilitadoras que permiten que la computación se realice en el borde de la red, en datos descendentes en nombre de los

servicios en la nube y ascendentes en nombre de los servicios de Internet de las cosas (Cao, Zhang y si, 2018).

Dio Networks define a Edge Computing como un nuevo paradigma, en donde el procesamiento y almacenamiento de los datos que producen las aplicaciones ocurre lo más cerca posible del usuario (Dio Networks, s.f.).

Para Industrial Internet Consorcio (IIC), Edge Computing permite el procesamiento cerca de las fuentes de datos, es decir, no necesita ser enviado a una nube remota u otros sistemas remotos centralizados o distribuidos para ser procesados posteriormente (Industrial Internet Consorcio, 2018).

2.2 Escenario actual

Debido a la gran cantidad de datos que se han generado en las últimas décadas, se han tenido que introducir nuevas formas de manipular los recursos informáticos y de almacenamiento (modelos de arquitectura de sistemas). En este sentido, el aumento en la cantidad de dispositivos IoT y las limitaciones de la capa de red ha conducido a un sistema descentralizado conocido como Edge Computing (Bischoff, Scheuermann, Kiesl y Hatzky, 2019; Liu, Tekinerdogan, Aoyama y Zhang, 2018).

Según Cisco, para el año 2020, más de 50 mil millones de objetos estarían interconectados en todo el mundo. Esto representa una baja latencia en ciertos tipos de aplicaciones y otros, de acuerdo con su confidencialidad, necesitarán ser procesados, localmente. Esto no está sincronizado con los servicios que puede ofrecer cloud computing. Por lo tanto, Edge Computing puede representar una solución a los problemas relacionados con la tecnología de computación en la nube (Liu, Tekinerdogan, Aoyama y Zhang, 2018).

El mayor beneficio que se puede obtener de Edge Computing es explotar los datos y la información, rápidamente, con la finalidad de cerrar la brecha entre la forma en que se generan los datos y dónde puede usarlos para actuar de manera sutil, crea una ventaja competitiva (DeNisco-Rayome, 2018).

Hoy día Edge Computing está siendo implementada en más áreas de las que al principio se pensó, un ejemplo de ellos es blockchain. Como tecnología subyacente de las criptomonedas, ha atraído una atención significativa.

En tal sentido, Edge Computing ha sido aplicada en los ámbitos de redes inteligentes, Internet de las cosas, entre otras áreas. Sin embargo, existe una barrera de escalabilidad significativa para la misma, que limita su capacidad para soportar servicios con transacciones frecuentes. La integración de blockchain y Edge Computing en un sistema puede permitir un acceso y control confiable de la red, el almacenamiento y la computación distribuidos en los bordes, proporcionan una gran escala de servidores de red, almacenamiento de datos y computación de validez cerca del final de manera segura (Yang, Yu, Si, Yang y Zhang, 2019).

En la sección de aplicaciones de Edge Computing se profundiza un poco más sobre los escenarios donde se está integrando este paradigma con otras tecnologías y cómo está contribuyendo a soluciones eficientes a cada una.

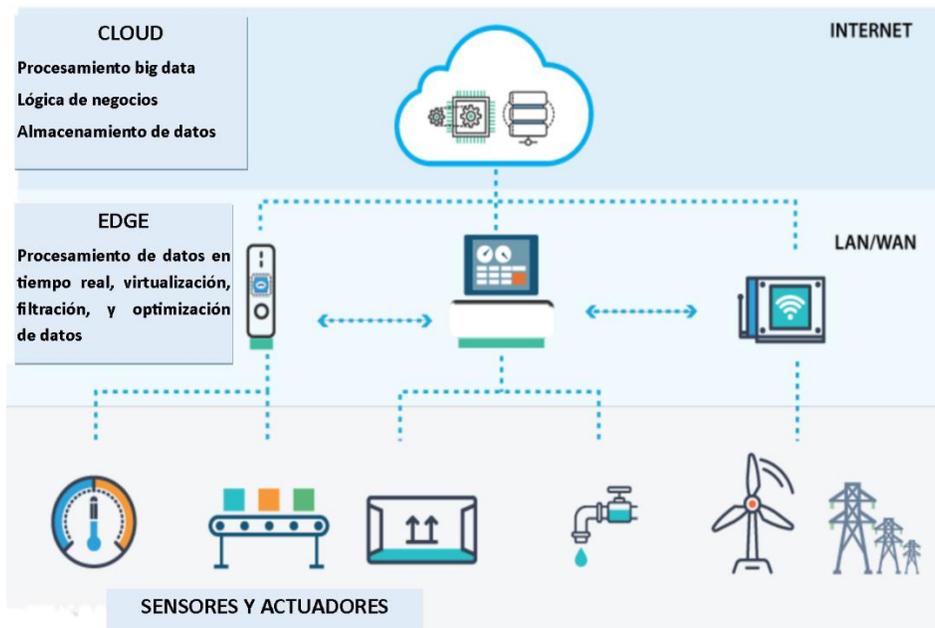
2.3 Arquitectura Edge Computing

La aparición del paradigma Edge Computing es el resultado del incremento de las soluciones que descentralizan las comunicaciones, recopilación y procesamiento de datos. Este concepto permite mejorar el rendimiento de los sistemas informáticos al reducir la latencia, el costo de los recursos y aumentar la capacidad de respuesta, escalabilidad, confiabilidad y seguridad, siendo estos sus mayores beneficios. El Internet de las cosas es la base de Edge Computing, debido a que se ha convertido en una referencia para los sistemas de recopilación y procesamiento de datos, pero la misma representa un desafío debido a la heterogeneidad de sus recursos, lo que genera dificultades en los protocolos de comunicación, procesos en tiempo real, gestión de datos, entre otros. En este sentido, las arquitecturas Edge Computing ofrecen una solución a las infraestructuras IoT, específicamente, en las aplicaciones emergentes como la conducción autónoma, drones, realidad aumentada/realidad virtual (AR/VR) y robótica, ya que, es capaz de gestionar los datos heterogéneos generados por dispositivos IoT y representa una ventaja para la

combinación de IoT y cloud computing (Sittón-Candanedo, Alonso, García, Muñoz y Rodríguez-González, 2019; Kristiani, Yang, Wang y Huang, 2019).

De acuerdo a las definiciones de Edge Computing y lo que se observa en la figura 1, Edge Computing, es una capa intermedia, ya que proporciona un enlace entre los dispositivos finales y la nube, por este motivo se dice que permite aliviar la carga de almacenamiento y procesamiento de datos que se realiza en la cloud. Esto significa que, se ejecutan menos procesos en la nube y mover esos procesos a lugares locales, por ejemplo: un dispositivo IoT, la computadora de un usuario o un servidor de borde. Por lo tanto, minimiza la cantidad de comunicación de larga distancia entre un cliente y un servidor.

Figura 1. Arquitectura Edge Computing



Fuente: Kristiani, Yang, Wang y Huang (2019).

Edge Computing no es solo una tecnología sobre la computación en sí, sino también un concepto arquitectónico, que tiene muchos impactos en el ecosistema relacionado, por dos razones: en primer lugar, la presencia de recursos de tecnología de la información distribuidos en el borde de la red introducirá transformaciones en las infraestructuras en los centros de datos tradicionales de computación en la nube. En segundo lugar, la capacidad informática que proporcionan los centros de datos de borde puede permitir más

paradigmas de servicios basados en el borde. Por lo tanto, con Edge Computing, Internet ya no será un paradigma de servicio centralizado, porque los centros de datos de borde se ocuparán de parte del tráfico de Internet, directamente (Zhao, Wang, Wei, Li, Colman, Tornatore y Zhang, 2019).

De manera general, la arquitectura Edge Computing está formada por la infraestructura informática distribuida y el procesamiento de datos. Dos entornos fundamentales, ya que, una está relacionada con la otra, debido a que la infraestructura distribuida permitirá el procesamiento de datos. En este caso, los centros de datos permiten que la información se procese más cerca de los usuarios y de esta forma no enviar en su gran mayoría, la información a la cloud, y obtener una respuesta más rápido.

En la siguiente tabla se describen las capas que forman la arquitectura general de Edge Computing.

Tabla 1. Capas de Edge Computing

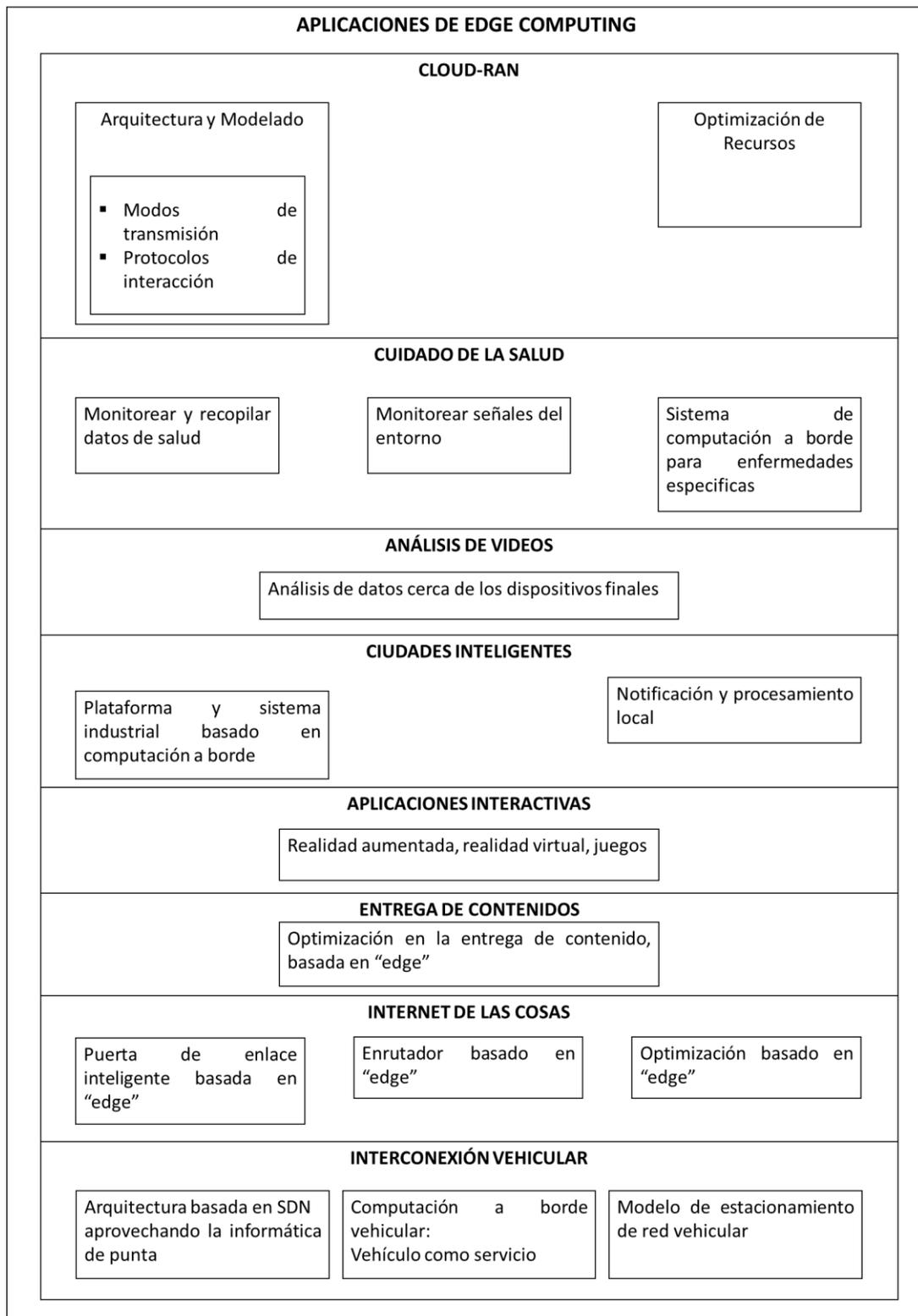
Capas	Descripción
Dispositivos finales, sensores y controlares	Incluye dispositivos IoT, así como a los usuarios. Además, esta capa es responsable de la ingestión de datos y las operaciones involucradas.
Nodo Edge	Se encarga del procesamiento de datos, el enrutamiento y las operaciones informáticas.
Servicios Cloud	Esta capa se ocupa de la parte analítica de datos, la inteligencia artificial, el aprendizaje automático o la visualización, entre otras tareas.

Fuente: Kristiani, Yang, Wang y Huang (2019).

3. Áreas de aplicación

Como se ha mencionado en este documento, Edge Computing puede reducir la latencia y demanda de ancho de banda en las redes centrales, siendo esta una de la principal ventaja. Edge Computing puede aplicarse en diferentes áreas, donde se requiera baja o nula latencia y uso intensivo de ancho de banda, como: red de acceso de radio en la nube (C-RAN), red de distribución de contenido (CDN), IoT, análisis de videos, atención médica, ciudades inteligentes y aplicaciones interactivas. A continuación, en la figura 2 se presenta un esquema sobre dichas áreas de aplicaciones y, posteriormente, se define su implementación con Edge Computing (Zhao, Wang, Wei, Li, Colman, Tornatore y Zhang, 2019).

Figura 2. Áreas de aplicación Edge Computing



Fuente: Zhao, Wang, Wei, Li, Colman, Tornatore y Zhang (2019).

3.1 Cloud-RAN

La red de acceso de radio en la nube fue propuesta por China Mobile en 2010 (Chhatani y Cheeran, 2016). Su idea principal es agrupar las unidades de banda base (BBU) de varias estaciones base, en un grupo de BBU centralizado para obtener una ganancia de multiplexación estadística. Esta arquitectura se ha convertido en un tema candente en el área de comunicaciones móviles 5G (Zhao, Wang, Wei, Li, Colman, Tornatore y Zhang, 2019), teniendo como objetivo virtualizar la unidad de procesamiento de banda base de la red móvil utilizando servidores de tecnología de la información estándar en las oficinas centrales, permitiendo mejorar la capacidad de la red al realizar un equilibrio de carga y un procesamiento cooperativo de señales que se originan en varias estaciones base (Checko, Christiansen, Scolari, Kardaras, Berger y Dittmann, 2015). Por lo tanto, C-RAN es compatible con Edge Computing y es un caso de uso muy significativo en este paradigma, por dos razones: en primer lugar, los recursos de informática de borde se pueden utilizar para atender el tráfico de los usuarios en el borde de la red directamente, esto, reduce la latencia de un extremo a otro y, en segundo lugar, los recursos de Edge Computing se pueden usar para admitir funciones C-RAN virtualizadas (Zhao, Wang, Wei, Li, Colman, Tornatore y Zhang, 2019).

Utilizando C-RAN desde la perspectiva de la implementación de aplicaciones, existe un modelo de programación y un marco para desarrollar aplicaciones basadas en Edge Computing, permitiendo a los desarrolladores de aplicaciones aprovechar características de aplicaciones comunes para diseñar aplicaciones móviles elásticas y escalables basadas en “edge”, además de poder beneficiarse al acceder, fácilmente, a las funciones de Edge Computing (Zhao, Wang, Wei, Li, Colman, Tornatore y Zhang, 2019).

3.2 Salud

Con la ventaja de una latencia ultrabaja, Edge Computing se aplica a la atención médica para respaldar las operaciones en tiempo real, apoyándose en su principio; la mayoría de las aplicaciones de atención médica están diseñadas para la monitorización del

paciente/cuerpo. Esto se debe a que Edge Computing puede acelerar el procesamiento de datos para estas aplicaciones (Zhao, Wang, Wei, Li, Colman, Tornatore y Zhang, 2019).

Existen muchas soluciones de monitorización de asistencia sanitaria basadas en Edge Computing, incluyendo el sistema de monitoreo de enfermedad pulmonar obstructiva crónica y la demencia leve. Además, con la implementación de Edge Computing en el área médica se permite transmitir a los centros de datos de borde las señales biológicas en tiempo real de los nodos de sensores para realizar el procesamiento, visualización y diagnóstico en profundidad (Nguyen, Jiang, Mohammad, Westerlund, Liljeberg y Tenhunen, 2015; Fratu, Pena, Craciunescu y Halunga, 2015).

Edge Computing también puede proporcionar técnicas y servicios avanzados, como la minería de datos integrada, almacenamiento distribuido y servicios de notificaciones a la atención médica (Zao, Tze Gan You, Rodríguez Méndez, Chung y Wang, 2014). De igual forma, permite monitorear señales ambientales relacionadas con el cuidado de la salud, haciendo uso de los dispositivos portátiles, utilizando los mismos para recopilar datos clínicos de los pacientes y, asimismo, usar las cámaras de los teléfonos móviles para detectar rayos ultravioletas (infraestructura denominada U-fall), procesando los resultados en el centro de datos de borde para lograr cálculos más precisos (Monteiro, Dubey, Mahler, Yang y Mankodiya, 2016; Mei, Li, Cheng, Yu y Cheng, 2017).

3.3 Análisis de videos

Actualmente, en la era del IoT, incluyendo las cámaras de vigilancia y los dispositivos terminales tradicionales que se están implementando en muchos países para mantener la seguridad y control de las mismas, pero esto, tiene una gran demanda de ancho de banda y procesamiento, lo que significa que los servidores en la nube pueden no ser capaces de transmitir video desde millones de dispositivos terminales. En este caso, Edge Computing puede contribuir, significativamente, en aplicaciones basadas en el análisis de video, permitiendo analizar datos cerca de los dispositivos finales y solo cargar una pequeña parte de datos a la cloud, datos que no pueden ser procesados por el servidor de borde (Wang, 2019).

El objetivo de implementar Edge Computing en los análisis de videos es aprovechar la potencia informática en los dispositivos finales para realizar búsquedas y obtener resultados más rápidos en comparación con la computación en la nube (Shi, Cao, Zhang, Li y Xu, 2016).

3.4 Smart city

Desde una perspectiva geográfica con el creciente desarrollo de las ciudades en las últimas décadas, en conjunto, con una gran cantidad de dispositivos conectados es un gran desafío la sostenibilidad y eficiencia. Dicho esto, las ciudades inteligentes apuestan por los principios de: competitividad, colaboración, planificación, creatividad, sostenibilidad y I+D+I (investigación, desarrollo e innovación) (Vaquero, 2018). Por lo tanto, Edge Computing tiene una variedad de casos de uso en Smart city, por ejemplo: la notificación de eventos de emergencia, este caso suele tener demandas estrictas de latencia y Edge Computing optimiza estas peticiones al ofrecer recursos informáticos en las proximidades, proporcionando un canal rápido para notificar al departamento pertinente, creando un servicio basado en teléfonos inteligentes, basándose en Edge Computing. Para ello, los centros de datos de borde recopilan la ubicación del incidente y se comunica, automáticamente, con el departamento que atiende estas emergencias. Luego, esta información se sincroniza de manera automática desde “edge” hasta la “cloud”, lo que permite un mayor análisis y mejora de la seguridad de las personas (Aazam y Huh, 2015; Sapienza, Guardo, Cavallo, La Torre, Leombruno y Tomarchio, 2016).

Además, de los casos urgentes que necesitan baja latencia y una respuesta rápida, Edge Computing puede ayudar a construir plataformas para el procesamiento de datos en toda la ciudad, por ejemplo, se utiliza para: construir sistemas inteligentes de evaluación del desempeño para cadenas de frío de alimentos, realizar predicciones para estimar la temperatura en un momento, entre otras (Chen, 2015) (Li, Jin, Yuan, Palaniswami y Moessner, 2015).

3.5 Aplicaciones interactivas

Actualmente, existen tres tipos de aplicaciones interactivas populares, ellas son: realidad aumentada, realidad virtual y juegos en línea. Se espera que las aplicaciones interactivas sean la esencia de Edge Computing, debido a que estas requieren requisitos estrictos sobre la latencia del servicio en comparación con las aplicaciones habituales. Por lo tanto, además de actuar como los puntos de servicio más cercanos para proporcionar el contexto y los datos necesarios a las aplicaciones interactivas con baja latencia, los centros de datos, con la ayuda de dispositivos auxiliares específicos y estrategias de optimización, busca facilitar las funciones interactivas (Zhao, Wang, Wei, Li, Colman, Tornatore y Zhang, 2019).

Entre los medios más populares y de mayor consumo de ancho de banda en Internet se encuentra la transmisión de video y los juegos de computadora, estos consumen alrededor del 70% del uso total de ancho de banda, un gran desafío para Edge Computing es poder soportar esta carga y eliminar la latencia (Bilal y Erbad, 2017).

3.6 Redes de contenido de entrega

La red de entrega de contenido (CDN), en un principio se creó para llevar más contenidos alrededor del mundo, no necesariamente, con procesos más rápidos. Sin embargo, está la incógnita de cuál es mejor entre CDN y EC para una tarea específica. En este punto hay que diferenciar algo muy importante, cuando se utiliza una red de entrega de contenido para sitios web, se está aprovechando la capacidad del servidor de borde para acercar los datos, mientras, Edge Computing, se preocupa más por acercar los procesos a los dispositivos que los necesitan (BelugaCDN, s.f.). En este sentido, surge la idea de implementar Edge Computing con CDN. Un ejemplo de ello es que, Edge Computing puede optimizar las aplicaciones basadas en la web, utilizando su conocimiento sobre el contexto de las redes y las condiciones de los usuarios como el estado de la red y la carga informática del dispositivo (Zhao, Wang, Wei, Li, Colman, Tornatore y Zhang, 2019).

3.7 Internet of Things

Aunque no es un término reciente, se mantiene activo y se puede decir que cada día se crean más dispositivos que pertenecen al Internet de las cosas. Pero, ¿Qué son los dispositivos IoT? Los dispositivos IoT son piezas de hardware, como sensores, actuadores, artefactos y accesorios, que están programados para ciertas aplicaciones y estos pueden transmitir datos a través de Internet u otras redes. Dicho esto, IoT se caracteriza por una gran cantidad de dispositivos finales en el borde de la red, específicamente, sensores livianos que, generalmente, no tienen la capacidad en recursos para un procesamiento complejo. Para este caso, los dispositivos de IoT, normalmente, necesitan descargar sus datos a entidades con soporte a través de Internet. Es aquí, donde se utiliza, específicamente, Edge Computing en dispositivos IoT, ya que, proporciona la infraestructura para soportar dicha descarga. Además, permite administrar dispositivos específicos IoT implementando plano de control (Chiang y Zhang, 2016).

Desde el punto de vista de, implementar dispositivos específicos de IoT, Edge Computing se puede utilizar para establecer puertas de enlace de IoT y enrutadores de borde. La puerta de enlace de IoT es la primera entidad de salto para agregar tráfico desde dispositivos IoT distribuidos. En general, se puede construir una puerta de enlace de IoT inteligente con Edge Computing para preprocesar y recortar datos en los centros de datos antes de ser enviados a la cloud (Aazam y Huh, 2014).

En el contexto del IoT inalámbrico, Edge Computing puede habilitar la puerta de enlace de IoT (consta de nodos maestros y esclavos) para redes de sensores y actuadores inalámbricos, permitiendo la administración de funciones, flujos y recursos de la puerta de enlace virtual. Más allá de esto, Edge Computing se puede utilizar para construir el enrutador de borde adaptable, que tiene la capacidad de control de admisión regresivo y cola difusa. Este enrutador puede monitorear y reaccionar a los cambios de calidad de servicio (QoS) de la red dentro de las redes heterogéneas y optimizar el rendimiento y recursos de la red, en consecuencia (Zhao, Wang, Wei, Li, Colman, Tornatore y Zhang, 2019).

3.8 Interconexión de vehículos

Cada día el avance en temas de tecnología automotriz aumenta, notablemente, permitiendo el enlace y comunicación, entre ellos. Si todos los datos recopilados por los vehículos se procesan en la nube, la carga de Internet será demasiado grande, lo que provocará un retraso en la transmisión. Por lo tanto, se debe tener la capacidad de procesar videos, audios, imágenes, entre otros. Es aquí donde entra el concepto de Edge Computing, ya que, proporciona la arquitectura, el servicio y las capacidades de soporte para reducir la latencia de un extremo a otro, permitiendo que los datos sean procesados más rápidos, obteniendo respuestas ágiles y de esta forma, evitar accidentes causados por el procesamiento inoportuno de señales (Wang, 2019).

En resumen, desde un punto de vista general, sin importar el área de aplicación, Edge Computing, busca implementar su arquitectura para permitir de esta forma aliviar la carga de análisis, procesamiento y almacenamiento llevado a cabo por la computación en la nube, para aprovechar el ancho de banda y disminuir la latencia de las aplicaciones y servicios utilizados, actualmente.

4. Desafíos y futuro de Edge Computing

El paradigma Edge Computing no es, relativamente nuevo, pero desde su aparición ha enfrentado grandes retos. A continuación, se mencionan en la tabla 2 los desafíos, al igual que las futuras líneas de investigación.

Tabla 2. Edge Computing

Desafíos	Líneas futuras
Computación de uso general en nodos de borde	Definir estándares, punto de referencia y mercado
Descubriendo los nodos de borde	Definir marcos de trabajo e idiomas
Tareas de partición y descarga	Establecer bibliotecas y algoritmos ligeros
Calidad de servicio (QoS) y calidad de experiencia (QoE)	Desarrollar micro sistemas operativos y virtualización
Uso de nodos perimetrales de forma pública y segura	Colaboraciones entre la industria y el mundo académico

Fuente: Varghese, Wang, Barbhuiya, Kilpatrick y S. Nikolopoulos (2016).

5. Conclusiones

- Esta investigación describe algunos conceptos sobre el paradigma Edge Computing y analiza la situación actual, presentando un enfoque en las diferentes áreas de aplicación, promoviendo a la sociedad, en general, a tener una visión sobre Edge Computing y comprender la utilidad en las tecnologías actuales.
- La arquitectura Edge Computing, es un paradigma, relativamente nuevo, que migra conjuntamente, las capacidades, la computación y el almacenamiento desde la nube remota a los lados del usuario de Internet, puede ser adaptada en diferentes áreas, con la finalidad de dar soporte a la demanda de ancho de banda y latencia de los servicios y aplicaciones actuales, permitiendo reducir la sobrecarga de procesamiento y transmisión de datos, mejorando la eficiencia y eficacia del análisis de datos.
- Con la característica de minimizar la necesidad de pasar datos a larga distancia entre los dispositivos y servidores, se reduce la latencia y se requiere menos ancho de banda, ha llevado a Edge Computing a implementarse más allá de su área de aplicación inicial.
- Edge Computing es un paradigma prometedor en algunas áreas al proporcionar servicios que impulsará el desarrollo de aplicaciones sorprendentes para los usuarios finales y la propia red.
- En general, este paradigma sería de mucha utilidad en países en desarrollo, haciendo uso del mismo en las aplicaciones y servicios ofrecidos, con la finalidad de potencializar la eficiencia en los distintos procesos, reducir costos y tiempo de respuestas, tanto para el estado como para las empresas.

Referencias bibliográficas

- Aazam, M., & Huh, E.-N. (2014). *Fog Computing and smart gateway based communication for cloud of things*. 2014 International Conference on Future Internet of Things and Cloud. <https://doi.org/10.1109/ficloud.2014.83>

- Aazam, M., & Huh, E.N. (2015). *E-HAMC: Leveraging fog computing for emergency alert service*. IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops). <https://doi.org/10.1109/percomw.2015.7134091>
- BelugaCDN. (s.f.). <https://www.belugacdn.com/>. Recuperado de <https://www.belugacdn.com/cdn-vs-edge-computing/>
- Bilal, K., & Erbad, A. (2017). *Edge Computing for interactive media and video streaming*. IEEE Second International Conference on Fog and Mobile Edge Computing (FMEC). <https://doi.org/10.1109/fmec.2017.7946410>
- Cao, J., Zhang, Q., & Shi, W. (2018). *Edge Computing: A primer*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02083-5>
- Checko, A., Christiansen, H. L., Yan, Y., Scolari, L., Kardaras, G., Berger, M. S., & Dittmann, L. (2015). Cloud RAN for Mobile Networks—A Technology Overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(1), 405–426. <https://doi.org/10.1109/comst.2014.2355255>
- Chen, R.-Y. (2015). *Fog computing-based intelligent inference performance evaluation system integrated internet of thing in food cold chain*. 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD). <https://doi.org/10.1109/fskd.2015.7382059>
- Chhatani, R., & Cheeran, A. (2016). Survey on cloud radio access network. *EAI Endorsed Transactions on Wireless Spectrum*, 2(7), 151001. <https://doi.org/10.4108/eai.19-1-2016.151001>
- Chiang, M., & Zhang, T. (2016). Fog and IoT: An overview of research opportunities. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(6), 854–864. <https://doi.org/10.1109/jiot.2016.2584538>
- DeNisco-Rayome, A. (1 de Octubre de 2018). *ZD Net*. Recuperado de <https://www.zdnet.com/article/10-scenarios-where-edge-computing-can-bring-new-value/>
- Dolui, K., & Kanti Datta, S. (2017). *Comparison of Edge Computing implementations: Fog computing, cloudlet and mobile Edge Computing*. Global Internet of Things Summit (GloTS). <https://doi.org/10.1109/giots.2017.8016213>

- Fratu, O., Pena, C., Craciunescu, R., & Halunga, S. (2015). *Fog computing system for monitoring Mild Dementia and COPD patients-Romanian case study*. 12th International Conference on Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS). <https://doi.org/10.1109/telsks.2015.7357752>
- Industrial Internet Consortium (18 de Junio de 2018). *Industrial internet consortium*. Recuperado de: Object Management Group, Inc. [https://www.iiconsortium.org/pdf/Introduction to Edge Computing in IIoT 2018-06-18.pdf](https://www.iiconsortium.org/pdf/Introduction%20to%20Edge%20Computing%20in%20IIoT%202018-06-18.pdf)
- Kio Networks. (s.f.). Kio Networks. Recuperado de <https://www.kionetworks.com/blog/data-center/que-es-edge-computing#>
- Kristiani, E., Yang, C.-T., Wang, Y. T., & Huang, C.-Y. (2019). *Implementation of an Edge Computing architecture using openstack and Kubernetes*. Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1056-0_66
- Li, J., Jin, J., Yuan, D., Palaniswami, M., & Moessner, K. (2015). *EHOPES: Data-centered fog platform for smart living*. International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC). <https://doi.org/10.1109/atnac.2015.7366831>
- Liu, S., Tekinerdogan, B., Aoyama, M., & Zhang, L.-J. (2018). *Edge Computing –Edge 2018*. EDGE: International Conference on Edge Computing. Seattle: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94340-4>
- Mei, B., Li, R., Cheng, W., Yu, J., & Cheng, X. (2017). Ultraviolet Radiation Measurement via Smart Devices. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(4), 934–944. <https://doi.org/10.1109/jiot.2017.2717845>
- Monteiro, A., Dubey, H., Mahler, L., Yang, Q., & Mankodiya, K. (2016). *Fit: A Fog Computing device for speech tele-treatments*. IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP). <https://doi.org/10.1109/smartcomp.2016.7501692>
- Nguyen Gia, T., Jiang, M., Mohammad, A.-R., Westerlund, T., Liljeberg, P., & Tenhunen, H. (2015). *Fog computing in healthcare internet of things: A Case study on ECG Feature Extraction*. IEEE International Conference on Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure

Computing; Pervasive Intelligence and Computing.
<https://doi.org/10.1109/cit/iucc/dasc/picom.2015.51>

Sapienza, M., Guardo, E., Cavallo, M., La Torre, G., Leombruno, G., & Tomarchio, O. (2016). *Solving critical events through mobile Edge Computing: An approach for smart cities*. IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP).
<https://doi.org/10.1109/smartcomp.2016.7501719>

Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge Computing: Vision and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637–646.
<https://doi.org/10.1109/jiot.2016.2579198>

Sittón-Candanedo, I., Alonso, R. S., García, S., Muñoz, L., & Rodríguez-González, S. (2019). Edge Computing, IoT and Social Computing in Smart Energy Scenarios. *Sensors*, 19(15), 1-20. <https://doi.org/10.3390/s19153353>

Vaquero, M. (9 de Enero de 2018). Paneles ACH. Recuperado de <https://www.panelesach.com/blog/smart-cities-o-ciudades-inteligentes-que-son/>

Wang, S. (2019). Edge Computing: Applications, State-of-the-Art and Challenges. *Advances in Networks*, 7(1), 8-15. <https://doi.org/10.11648/j.net.20190701.12>

Yang, R., Yu, F. R., Si, P., Yang, Z., & Zhang, Y. (2019). Integrated Blockchain and Edge Computing Systems: A survey, some research issues and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(2), 1508–1532.
<https://doi.org/10.1109/comst.2019.2894727>

Zao, J., Tze Gan, T., You, C. K., Rodríguez Méndez, S. J., Chung, C. E., Wang, Y. T., . . . Pin Jung, T. (2014). *Augmented brain computer interaction based on fog computing and linked data*. International Conference on Intelligent Environments.
<https://doi.org/10.1109/ie.2014.54>

Zhao, Y., Wang, W., Li, Y., Colman Meixner, C., Tornatore, M., & Zhang, J. (2019). Edge Computing and Networking: A survey on infrastructures and applications. *IEEE Access*, 7, 101213–101230. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2927538>